

**TRABAJO DE GRADO**

**MONOGRAFÍA**

**APROVECHAMIENTO DEL BI OGÁS PROVENIENTE DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES –PTAR, COMO FUENTE DE  
ENERGÍA ALTERNATIVA**

**CRISTIAN CAMLO CABRALES TELLO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO  
AMBIENTE  
INGENIERIA AMBIENTAL  
2019**

**MONOGRAFÍA**

**APROVECHAMIENTO DEL BIÓGÁS PROVENIENTE DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES –PTAR, COMO FUENTE DE  
ENERGÍA ALTERNATIVA**

**CRISTIAN CAMILO CABRALES TELLO**

**DI RECTOR:**

**DIANA MARCELA IBARRA MOJICA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**2019**

## TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción . . . . .	5
2	Digestión anaerobia y sus fases . . . . .	7
2.1	Primera fase: Hidrólisis . . . . .	8
2.2	Segunda fase: acidogénesis . . . . .	8
2.3	Tercera fase: acetogénesis . . . . .	9
2.4	Cuarta fase: metanogénesis . . . . .	9
3	Ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica . . . . .	9
4	Generación de biogás en planta de tratamiento aguas residuales . . . . .	10
5	Tecnologías de tratamiento anaerobio . . . . .	12
5.1	Reactor de mezcla completa . . . . .	12
5.2	Filtros anaerobios . . . . .	12
5.3	Reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB) . . . . .	13
5.4	Reactor anaerobio de lecho granular expandido (EGSB) . . . . .	14
5.5	Otros reactores anaerobios . . . . .	15
6	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN REACTORES . . . . .	16
6.1	Acumulación . . . . .	16
6.2	Captación . . . . .	17
6.3	Conducción . . . . .	17
6.4	Condensación . . . . .	17
6.5	Remoción de ácido sulfídrico . . . . .	18
7	Usos del biogás . . . . .	18
7.1	Implementación del Biogás en motores de combustión interna . . . . .	19
7.2	Generación de energía eléctrica a partir del biogás . . . . .	20
7.3	Generación de calor a partir del biogás . . . . .	20
7.4	Uso doméstico del biogás . . . . .	21
8	Conclusiones . . . . .	23
9	Referencias Bibliográficas . . . . .	24

## RESUMEN

La producción de energía a partir de fuentes alternativas actualmente se encuentra en auge, debido principalmente a que el consumo y explotación de combustibles fósiles es considerado entre las principales causas de la contaminación que enfrenta el planeta desde la perspectiva del consumo energético, la estimación de generación de biogás en Colombia refleja una gran ventaja, debido a que la implementación de proyectos de biogás, así mismo como genera beneficios económicos en los sectores de consumo, presenta externalidades sociales, ambientales y de salud.

De esta manera, en la presente Monografía se realiza una revisión sistémica de la literatura aplicable al tema del biogás, teniendo en cuenta las diferentes consecuencias de la introducción de digestión anaerobia en las plantas de tratamiento de aguas residuales, además de las múltiples bondades del biogás proveniente de plantas de tratamiento de aguas residuales, como fuente de energía alternativa. Dicho estudio fue abordado partiendo de la información recopilada en diferentes estudios referentes a la producción energética, el potencial de biomasa residual, la participación de las energías renovables y la caracterización de la producción de biogás de diversas fuentes en Colombia.

**Palabras claves:** *Biogás, Planta de tratamiento de aguas residuales, digestor anaerobio, residuales, fuentes de energía alternativas*

## 1. Introducción

El crecimiento industrial evidenciado a nivel mundial desde mediados del siglo XX ha permitido avances sociales y tecnológicos positivos para el sector económico de cada país, a la vez que ha repercutido de forma negativa en los indicadores ambientales y ha dificultado el crecimiento económico basado en el principio del desarrollo sostenible, de acuerdo a la ONU el desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de las actuales generaciones pero sin dañar la capacidad de las generaciones futuras en pro de satisfacer sus propias necesidades (ONU 1987)

La problemática actual de los residuos sólidos, en gran parte del mundo, se agranda si se tiene en cuenta el apresurado aumento poblacional a nivel mundial, junto a esto la centralización de las zonas urbanas, incrementando el adelanto industrial, sumando los hábitos de consumo y los cambios en éste y una búsqueda incesante de una mejor calidad de vida, esto se debe de igual manera a una cadena de factores los cuales conllevan al deterioro y contaminación del medio ambiente y los recursos naturales existentes. (Márquez, 2010). Esto pone en evidencia la prioridad que debe tener el tema ambiental, en concordancia la relación entre el crecimiento económico y medio ambiente, dado que la producción lleva a la sobreexplotación de recursos naturales de forma desmedida sin tener en cuenta que el planeta no tiene la capacidad suficiente para suplir las necesidades de consumo de población de más de 7.000 millones de seres humanos, y que sigue en aumento, lo que convierte a dicha producción en una economía insostenible (Rámirez & Antero, 2014).

Hasta el día de hoy, el 90% de las necesidades energéticas en nuestro planeta se satisfacen mediante el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) todos ellos con características similares: limitados, de alta contaminación y utilizados de forma ineficiente, debido a que predomina el beneficio de fabricación de energía sobre el de su alto efecto ecológico. (Torres, 2006) Debido a esto, en los últimos años la generación de fuentes alternativas adquiere progresivamente una mayor importancia a nivel mundial, por razones energéticas y ambientales.

Ante este problema, se plantea la necesidad de hallar una tecnología conveniente utilizando recursos ambientales locales disponibles como lo son los residuos orgánicos

(heces humanas, estiércoles y desperdicios de alimentos), estos pueden ser utilizados como una solución simple para producir biogás y biofertilizante por medio de plantas de biogás.

La biotecnología anaeróbica se enseña como uno de los procesos que permiten de manera acertada mitigar y/o disminuir esta problemática, esta tecnología su fundamento principal es el uso de digestores es en este lugar donde se almacena materia orgánica. De esta forma, se causa la degradación de esta, formando una energía poco usual llamada biogás (Gozza & Pagano, 2007). Así, de esta forma se precisa la digestión anaeróbica como la descomposición de material degradable por medio de un proceso biológico en ausencia de oxígeno estableciendo relaciones simbióticas de microorganismos anaerobios para dar como resultado principal Biogás y digestato (Caete, 2007).

De esta forma, al eliminar el  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  la inflamación del biogás aumentaría, de esta forma puede ser quemado de una manera productiva en otros usos concernientes con la producción de energía, las fuentes primordiales de generación de biogás corresponden a plantas de tratamiento de aguas residuales, rellenos sanitarios y biodigestores de pequeña, mediana y gran escala, debido a las condiciones en que es degradada la materia orgánica (González, 2006). Sin embargo, cabe resaltar que, una vez se genera el biogás, no puede utilizarse de manera directa, sin la adecuada remoción del  $\text{H}_2\text{S}$ , ya que aunque se encuentre en muy baja concentración, es de vital importancia su eliminación, además de ser tóxico para la salud humana, es corrosivo, esto impide la utilización como combustible y por consecuencia su valor de uso (Coto, 2007).

## 2. Digestión anaerobia y sus fases

En la digestión anaerobia al descomponerse la materia orgánica, lo realiza en presencia o ausencia de oxígeno, cuando las condiciones se dan en ausencia de oxígeno estas se refieren como descomposición anaeróbica. Esta descomposición se puede dar de forma natural o se puede inducir de manera artificial, siempre y cuando se presenten ambientes contrarios. Uno de los resultados finales de la degradación anaeróbica es el biogás, el cual se origina de forma natural a partir de la descomposición bajo el agua, o también en las entrañas de los animales, y de manera artificial en digestores herméticos (Hilki ahlgori, Aydtamuno, Eze, Ogaji, & Probert, 2008)

**Cuadro 1.** Componentes del biogás

Componentes	Fórmula Química	Porcentaje %
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Gas Carbónico	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1.0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Ácido sulfídrico	H <sub>2</sub> S	0.1

Fuente: Bótero, 1987

La digestión anaerobia se caracteriza por la presencia de etapas consecutivas: la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Villanueva, Najera, Gómez, Hernández, & Velasco, 2011)

Como consecuencia de este proceso se forman compuestos solubles, los cuales serán metabolizados por los diferentes tipos de bacterias anaerobias las cuales se encuentran en el interior de las células. (Eena & Pozuelo, 2001)

## **2.1 Primera fase. Hidrólisis.**

La hidrólisis es la división de las moléculas complejas insolubles en partículas como lo son las proteínas, carbohidratos y lípidos; se presenta una reacción química por medio de enzimas. Los microorganismos al no ser capaces de digerir estas moléculas tan grandes y complejas necesitan enzimas como fermentativos y acidogénicos para poder digerir y convertir estas moléculas en elementos solubles como por ejemplo: aminoácidos, azúcares y ácidos grasos. Mediante el proceso, las proteasas que quiere decir enzimas encargadas de transformar las proteínas en aminoácidos, ejercen su función al igual que las lipasas que son las enzimas encargadas de transformar lípidos en ácidos grasos. (López, 2015)

cabe resaltar que esta importante etapa es, habitualmente el paso límite de la digestión anaeróbica se presenta cuando la materia orgánica sólida es empleada como sustrato (Cazier, Trably, Steyer, & Escudie, 2015) La rapidez velocidad de descomposición de la materia orgánica durante la etapa de la hidrólisis está sujeta a la medio donde proviene el sustrato. La metamorfosis de celulosa y hemicelulosa básicamente se da de forma más lenta que la degradación de proteínas (Kondusamy & Kalambhad, 2014).

## **2.2 Segunda fase: acidogénesis**

En esta etapa se produce el ácido acético debido a la transformación de ácidos grasos, el ácido acético se produce por medio de las bacterias que producen hidrógeno, junto con  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2$  a partir de ácido propiónico, butírico o de cadena más larga. A estas alturas, ya se debe haber aprovechado todo el alimento presente en la biomasa de la mayoría de las bacterias anaerobias y después de su metabolismo, se elimina por sí mismo los desechos de las células. Los productos que se forman de esta etapa, los ácidos volátiles sencillos, se utilizarán en la siguiente como sustrato para bacterias metanogénicas. (Alberto, J 2017)

### **2.3 Tercera fase: acetogénesis**

Para que se pueda llevar a cabo esta etapa, debe haber una conversión microbiana de lo obtenido en la hidrólisis que fueron: ácidos grasos de cadena larga, ácidos y aminoácidos, ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) con bajo peso molecular, bajas concentraciones de ácidos grasos volátiles, ácido fúlvico y otros tipos de ácidos más confusos que serán empleados como sustratos para microorganismos metanogénicos. Los elementos más importantes en esta etapa son los ácidos grasos volátiles  $\text{H}_2$  y  $\text{CO}_2$  pero tampoco se descarta la idea de que aquí también se puede crear una acumulación de sales como el lactato, propionato y butirato, y compuestos como el etanol (Rosales M.F.P. 2006)

### **2.4 Cuarta fase: metanogénesis**

La etapa metanogénica es aquella en donde se produce la formación de metano en condiciones únicamente anaerobias, este proceso de degradación es rigurosamente de carácter energético es por esto que no cualquier microorganismo metanogénico puede degradar cualquier sustrato (Pérez 2010)

Los microorganismos responsables de la metanogénesis o creación del metano son aquellos presentes en el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Se conocen dos importantes microorganismos: los metanógenos acetoclásticos, quienes son los encargados de degradar el ácido acético produciendo metano y dióxido de carbono; y los metanógenos hidrogenotrofos, quienes son los encargados de generar agua y metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono (González Cabrera, 2014).

## **3. Ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica**

El tratamiento en ausencia de oxígeno de las aguas residuales de diferentes tipos tiene diversas ventajas si las comparamos a otras técnicas de tratamiento. Por tener un ejemplo, se observa que el consumo de energía es relativamente bajo con el tipo de tratamiento

anaeróbico, a causa de diferentes fases como la no previsión de oxígeno ya que no necesita ser mezclado de manera intensa. En su gran mayoría, el material orgánico presente en el agua residual se transforma en biogás, el cual puede ser utilizado en motores de combustión con el propósito de obtener energía o vapor. De esta forma, esta fuente energética se puede emplear en la planta de generación de biogás o también se puede abastecer a la red de la energía. Además, la producción de lodo en el proceso de tratamiento anaerobio es respectivamente baja, debido a que la gran cantidad del material orgánico se transforma en biogás, más no en lodo. Inmediatamente, el lodo anaerobio es estabilizado y este se puede secar con gran facilidad por la acción de la gravedad. Este material en su gran mayoría es utilizado para arrancar nuevos reactores anaeróbicos y/o como bioabono orgánico en la tierra. De esta forma, los gastos que se genera en el transporte del lodo son bajos (Arango & Sanches, 2009)

Sin embargo, dentro de sus principales desventajas, es importante reconocer que el proceso en sí de las bacterias anaerobias no logra conseguir la calidad del efluente que pudiese ser alcanzado, por ejemplo, la calidad que se puede presentar en una planta de lodos activos y otros sistemas aerobios. (Torres, 2006)

#### **4. Generación de biogás en planta de tratamiento aguas residuales**

El biogás creado en los procesos de tratamiento anaeróbico está compuesto por gas metano en 50 - 75 % (el resto es en su gran mayoría CO<sub>2</sub>). El metano es un gas altamente inflamable, por lo que puede ser utilizado para producir energía eléctrica o calorífica para abastecer la demanda energética de la planta de tratamiento. Asimismo, al ser quemado, se transforma en CO<sub>2</sub>, disminuyendo su potencial de contaminación global el cual es 21 veces mayor y contribuye al calentamiento global (Nolasco, 2010).

Para valorar la posibilidad técnica y económica de un proyecto para la utilización del biogás, se necesita considerar el volumen —especialmente del metano— que sea viable recobrar. Es así de esta forma que la identificación de las aguas residuales es un elemento primordial y necesario para la creación de biogás, debido a que este depende de ciertas

medidas como el pH la temperatura, y una proporción carbono/nitrógeno correcto de manera tal que las bacterias metanogénicas, creadoras del proceso de biodegestión puedan perdurar en dicho ambiente. (Canales, 2011)

En la producción de biogás en una planta de tratamiento la duración de captura hidráulica tiene que ser suficiente para así acceder a un adecuado contacto entre el lodo y el agua residual, especialmente en la zona de reacción del reactor. Una de las mayores dificultades que se muestran en el reactor es la flotación de algunos lodos, esto hace que no haya un contacto apropiado con el agua residual, ocasionando de esta forma su salida del reactor. Distintas situaciones se pueden relacionar con la flotación de lodo: manifestación de biomasa filamentosa que puede atrapar el biogás; la presencia también de sustancias grasas en el lodo absorbedoras de biogás, como también la presencia de proteínas en el agua residual (Lorena et al., 2011)

Los sistemas de recolección de biogás son muy importantes en la elaboración de este gas puesto a que se debe diferenciar entre la cantidad de biogás producido neto en la instalación y la cantidad realmente recuperado por el sistema de extracción. Esta medida de recuperación obedece principalmente de la eficacia del sistema de extracción del biogás ubicado en el vertedero y del nivel de impermeabilidad que tenga el material de cobertura y de sellado de la instalación (Magariños, García, & Arévalo, 2015)

Una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas se fundamenta en una línea de proceso que se origina con un tratamiento físico, sucedido de un tratamiento biológico y por último, un tratamiento químico si fuese necesario. Para poder elegir un método de tratamiento para las aguas residuales, es de suma importancia tener conocimiento de las opciones disponibles, y tener claridad en los objetivos que se quieren realizar. De ante mano se debe tener claridad que ningún tratamiento puede cubrir todos y cada uno de los aspectos que se necesitan, se puede elegir el tratamiento que más se ajuste al objetivo deseado considerando la relación costo beneficio y el respeto y cuidado del medio ambiente (Torres P., 2012)

De las técnicas anaerobias que se presentan en una planta de tratamiento de aguas residuales se logra como producto un biogás combinado por metano y dióxido de carbono. Las proporciones de los diferentes compuestos del biogás son un indicador de la validez que tiene el proceso. Asimismo, si en los lodos preexisten compuestos minoritarios, estos logran

dar lugar a gases tóxicos como el  $H_2S$  y el amoníaco también es uno de esos productos. (Rodríguez Caro Raquel, n.d).

## **5. Tecnologías de tratamiento anaerobio**

En los últimos tiempos se han venido desarrollando diferentes sistemas de tratamiento anaerobio, capaces de retener concentraciones elevadas de microorganismos. Las concentraciones de lodo pueden ser alcanzadas mediante retenciones físicas y/o inmovilización de las bacterias. Dentro de las principales tecnologías se encuentran las siguientes:

### **5.1 Reactor de mezcla completa**

En este tipo de reactor, el proceso está fundamentado en dos etapas. En la primera de las etapas, la materia orgánica se convierte en Dióxido de Carbono y metano en un reactor de mezcla completa. Seguido de esto, la materia tratada es dirigida a un sedimentador que se encarga de separar la corriente tratada y los lodos, los cuales son recirculados al reactor de la primera etapa (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007)

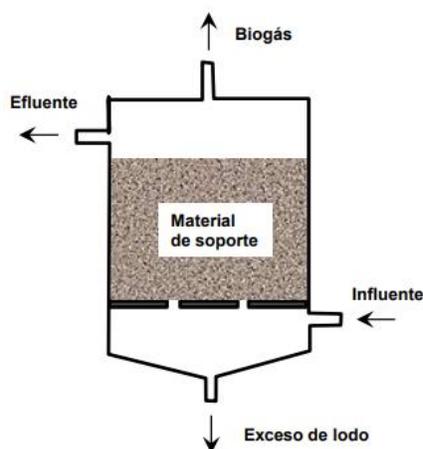
### **5.2 Filtros anaerobios**

Este sistema está conformado por un tanque de digestión anaerobia, en el cual contiene un filtro sobre el cual los microorganismos anaerobios se establecen. De esta manera, la retención de biomasa tiene lugar por adhesión de una biopelícula al material de soporte, y, de más, por sedimentos y atrapamiento de la biomasa en el material de soporte. (Pabuena & Pasqualino, 2014)

Dentro de las principales características más influyentes en el tratamiento biológico, se incluye el tiempo de retención de sólidos y la concentración de microorganismos presentes en el medio. Por tanto, si se tienen largos tiempos de retención de sólidos, asociados con cortos tiempos de retención hidráulica, suma a que el filtro anaeróbico tenga un potencial

sobresaliente para su aplicación en el tratamiento de aguas residuales de baja carga orgánica. Se evidencia como la ventaja principal de esta tecnología es la baja producción de sólidos, sin embargo, se debe tener en cuenta que mantener un buen contacto entre el lodo y el agua residual puede ser complejo. Por otro lado, una desventaja de este filtro es la acumulación de biomasa en la parte inferior de los reactores de flujo ascendente, al existir la posibilidad de una obstrucción o formación de cortocircuitos. (Yaniris, 2006)

**Ilustración 1.** Esquema de un filtro anaeróbico de flujo ascendente.



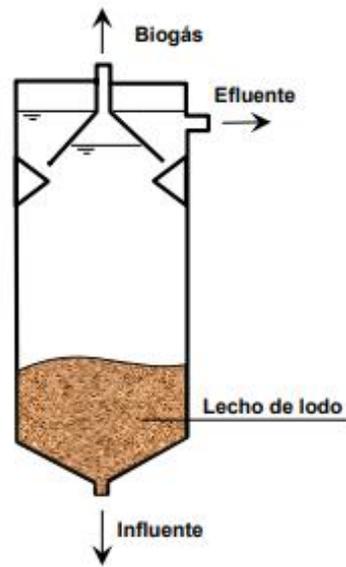
**Fuente:** Torres, 2012

### 5.3 Reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB)

Los reactores de este tipo evidentemente son los sistemas más empleados en el tratamiento anaerobio de aguas residuales. La retención de los lodos en el reactor está basada en la formación de agregados de partículas de lodo que, de manera sencilla, son sedimentados, (flóculos o gránulos) y en la aplicación de un sistema que consiste en la separación de gas – líquido – sólido. De este tipo de reactores, se destaca el reactor de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB). El agua residual de éste fluye de modo ascendente a través de un manto de lodo. Dicha agua residual es tratada por los microorganismos produciendo biogás. Un adecuado contacto entre el lodo y el agua residual requiere de, principalmente, la

alimentación del agua residual de forma uniforme en la base del reactor, o debido a la agitación producida por el biogás. (Yaniris, 2006)

**Ilustración 2** Esquema de un reactor de lecho de lodo (UASB)

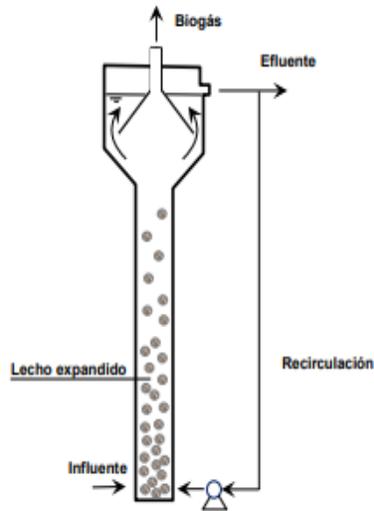


**Fuente:** Torres, 2012

#### **5.4 Reactor anaerobio de lecho granular expandido (EGSB)**

Este reactor es una variante de los reactores de lecho de lodos, considerados su segunda generación. Su principal diferencia se basa en la mayor velocidad de flujo ascendente del agua residual (Adekunle & Okolie, 2015). De esta manera, el aumento en el flujo permite la expansión parcial del lecho, mejorando oportunamente el contacto entre la biomasa y la corriente a tratar. Para obtener altas velocidades superficiales del líquido en el reactor, se debe aplicar altas velocidades de recirculación del efluente. Además, al mismo tiempo se produce la segregación de pequeñas partículas inactivas suspendidas en el lodo. (Yaniris, 2006)

**Ilustración 3** Esquema de un reactor de lecho de lodos expandido (EGSB)



**Fuente:** Torres, 2012

### 5.5 Otros reactores anaerobios

Sumado a las tecnologías mencionadas anteriormente, existen otras opciones de tratamiento anaerobia. Para destacar, el reactor secuencial anaeróbico por lotes (ASBR) consiste en un conjunto de reactores anaeróbicos operados en modo Batch utilizando un método de relleno y vaciado. De esta forma, una cantidad de agua residual bruta es provista al reactor anaeróbico, posteriormente de que el líquido que queda en la parte superior de un lote preliminar ha sido descargado. (Torres P., 2012) A continuación, se mezcla el contenido del reactor con el fin de permitir que el lodo sedimentado entre en contacto con el agua servida con el fin de eliminar la materia orgánica. Después de un período de tiempo de reacción suficiente, se deja que el lodo sedimente y el sobrenadante se descarga. A continuación, se inicia el siguiente ciclo.

Por otro lado, existen los biorreactores anaerobios de membrana (AMBR), los cuales se consideran como la opción más reciente en el tema, sin embargo, presentan un aumento de interés en aquellos casos donde las tecnologías tradicionales no funcionan adecuadamente. Esto es probablemente el caso de tener condiciones extremas, por ejemplo, alta salinidad o aguas residuales que contienen compuestos refractarios y/o compuestos tóxicos. Experiencias a gran escala han confirmado que bajo esas condiciones no es posible inmovilizar el lodo mediante la formación de gránulos, lo que afecta a la retención de lodos.

Además, es importante destacar como principal inconveniente de las AMBR, el elevado coste de las membranas. (Arango & Sanches, 2009)

## 6. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN REACTORES

La implementación del biogás para sus diferentes usos requiere de diferentes técnicas adicionales como la depuración, la acumulación y el lavado, sin tener necesariamente esa secuencia. Por ejemplo, el primer proceso se da cuando la acumulación se realiza en el digestor, luego de esto sigue la eliminación de ácido sulfhídrico. De este modo, si el lavado se verifica y el gas es consumido de una forma directa. No obstante, si la digestión no se lleva a cabo en el digestor, es beneficioso depurar el ácido sulfhídrico antes de que este sea almacenado, para así de esta manera evitar la acción dañina de éste. (Caete, 2007)

### 6.1. Acumulación

El biogás que se ha producido va a parar en la parte superior del reactor o más bien laguna, atrapado, en una cubierta flexible o rígida. La forma más habitual de acumular el gas es en dicha cubierta que está presente en pequeñas instalaciones; sin embargo, hay casos en los que el biogás no es recolectado en éstas pequeñas instalaciones, sino que, es recolectado en estructuras ad hoc. estas estructuras generalmente son más grandes y allí es normal que antes de empezar a acumular el biogás, se remueve el ácido sulfhídrico presente para que no haya corrosión, y después de esto, se realiza un lavado del biogás con el propósito de dividir el dióxido de carbono para poder minimizar el volumen que se necesita para la unidad de acumulación. (Nolasco 2010)

Ahora bien, el método de acumulación más habitual para instalaciones fijas, con entrega presión constante, consta de un gasómetro. (Yaniris, 2006). En su estructura, constituye de un cilindro saturado de agua, en el cual es introducido otro invertido, dejando seguro de esta manera la hermeticidad del circuito de gas. (Arango & Sanches, 2009)

## **6.2 Captación**

Para este tipo de procesos importantes para la obtención del biogás los sistemas de captación son vitales para su producción. Es importante diferenciar entre la cantidad de biogás neto producido en la instalación y el caudal que es recobrado del sistema de extracción, para así poder manifestar el por qué es de suma importancia el sistema de captación. Básicamente la tasa de recuperación obedece netamente de la eficacia que se emplee en el sistema de extracción y obtención de biogás situado en el vertedero como también del nivel de impermeabilización que tenga el material que se utilice para cubrir y sellador la instalación. (Juan José Graña Magariños, 2014)

Sumado a esto, es significativo resaltar que, si bien el diseño del reactor se considera básico, la manera para ser efectuado comienza a inmiscuirse en la lenguaje técnico, lo cual obliga a que la persona encargada del diseño tenga experiencia en el mismo, debido a que existen aspectos en el interior del reactor (captación de biogás, sistema de distribución de agua, sistema de purga de lodo), que actualmente no se encuentran estandarizados, consecuentemente, el diseño interno y su funcionamiento dependen netamente del propio diseñador. (Arango & Sanches, 2009)

## **6.3 Conducción**

En sistemas pequeños, la conducción del biogás se realiza de manera que el gas siempre pasará por mangueras de PVC, estas tuberías no reaccionan al sulfuro de hidrógeno. Estas mangueras deben estar bajo tierra o en lugares altos y debidamente señalizadas, de esta manera se puede evitar posibles daños por la luz emitida por el sol, animales o personas. Cuando las distancias entre la captación y el punto final son largas se emplean tuberías rígidas como de acero o PVC, ya que estas brindan una mayor resistencia que las mangueras común y corrientes. (Nolasco, 2010)

## **6.4 Condensación**

Teniendo en cuenta que uno de los principales componentes del biogás es el vapor de agua, cuando el biogás sale de cualquier tipo de digestor, pasando por la tubería de

conducción, (sea de acero o PVC), es sometido a una baja de temperatura, produciendo la condensación de la humedad. (Acevedo, 2015)

Una solución a esto consiste en disponer de un tubo en el cual se va a conducir el biogás con cierta inclinación en dirección al digestor, logrando así de esta manera que el agua circule de regreso. Sin embargo, otra posibilidad es colocar trampas de agua en la tubería, o sea recipiente donde se deposite el agua y sea fácil de ser extraída (Coto, 2007)

## **6.5. Remoción de ácido sulfhídrico**

El ácido sulfhídrico presente en el biogás se produce por degradación anaeróbica de material orgánico. La remoción del ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) es de vital importancia ya que su presencia corroe los materiales. Es de vital importancia remover este compuesto del biogás debido a que este es un gas inflamable e incoloro está disponible para la purificación del biogás el cual es altamente corrosivo y tóxico. Esto provoca una gran desventaja y es que dificulta el paso del biogás por las tuberías y consecutivamente su almacenamiento en tanques y otras estructuras metálicas. (Varnero, Carú, Galleguillos, & Anchondo, 2012)

Como estrategia de mitigación para evitar inconvenientes como la corrosión de tuberías e instalaciones, un fuerte olor, e incluso problemas graves de salud, el procedimiento más empleado para quitar este ácido es “método de la caja seca,” este radica en hacer circular el gas a través de un recipiente cerrado, el cual disponga de esponjillas de hierro delicadamente distribuidas (Echarren, 2005).

## **7. Usos del biogás**

El empleo de nuevas fuentes de energías alternativas amigables con el medio ambiente ha tenido una gran acogida en los últimos años, donde se ha contemplado la posibilidad de minimizar el consumo de combustibles fósiles los cuales no son renovables ni mucho menos amigables con nuestro medio ambiente, estudiando reducir la dependencia de los combustibles fósiles no renovables y el impacto medio ambiental (Acevedo, 2015)

La utilización del biogás se convierte en una elección real a partir de tres opciones que conciernen a su uso directo como un combustible con un poder calorífico medio, su implementación en la generación de energía eléctrica, y por último su proceso para obtener así de esta manera un gas de calidad semejante al gas natural. (Cámarago & Vélez, 2009)

### **7.1. Implementación del Biogás en motores de combustión interna**

El biogás es un combustible el cual puede ser empleado en los motores de combustión interna, estos motores son los que trabajan por combustión mediante ignición por chispa y su encendido es por compresión, debido a los buenos resultados obtenidos con la implementación de este biogás se evidenciaron mejoras considerables en el desempeño del motor, y baja contaminación, en un futuro se piensa ahondar en una investigación trascendental como lo es el uso del biogás en motores de explosión utilizados en la transformación de energía. El elevado consumo de energética actual está empujando requerimiento de perfeccionar el uso del biogás de nivel mundial, esto se están convirtiendo en una clave vital al momento de hablar del desempeño de estos motores. (Arango Gómez, Sierra Vargas, & Silva Leal, 2014)

El biogás además de ser utilizado en métodos de generación de energía eléctrica también está en auge el uso del biogás en vehículos de motores de combustión interna, en conclusión, el biogás y sus diferentes usos es considerado como el futuro en energías alternativas. Este importante recurso puede ser utilizado en diferentes tipos de vehículos como lo son: livianos, pesados, provistos con motores de combustión interna o pilas de combustible de tipo voluble. Además, hoy en día se sabe que ya hay vehículos que utilizan el biogás como combustible. La única manera de que el biogás puede sustituir al gas natural común es que pase por un proceso de refinación con el único fin de remover aquellas impurezas como, por ejemplo: partículas sólidas, agua, CO, H<sub>2</sub>S, entre otros aumentando así la concentración de metano existente hasta un 95%. Las ventajas que ofrece el uso del biogás en vehículos referente a uno que funciona con combustible tradicional (Diesel o gasolina) es que el biogás muestra un rendimiento mayor que en un motor con combustible tradicional, los motores llegan a ser más duraderos y emiten pequeñas cantidades de sonido. Por otro lado, una

desventaja en el uso del biogás en vehículos es que los motores presentan menor autonomía y el arrancado del vehículo es más lento de lo normal. (Migariños et al., 2015)

## **7.2 Generación de energía eléctrica a partir del biogás**

Una ventaja del biogás es que tiene un poder calorífico muy alto que puede ser aprovechable mediante combustión. Teniendo en cuenta su captación, es quemado y transformado en energía eléctrica por medio de motores de combustión interna, haciendo así, que se deje atrás los combustibles tradicionales. (Crozza & Pagano, 2007). Si se realiza una concientización del alto consumo a nivel global de combustibles fósiles a la comunidad y a su vez se logra educar sobre el beneficio energético del biogás a partir de la gestión controlada de residuos, podríamos alcanzar una nueva cultura de conservación ambiental importante.

Esta generación de energía eléctrica, demanda de una purificación del combustible ya que el biogás cuenta con ciertos componentes altamente corrosivos y estos pueden dañar los motores, esta purificación también debe reducir los componentes contaminantes que excedan los límites permitidos (Banco, Santalla, Córdoba, & Levy, 2017)

En proyectos de gran escala donde aumenta el tamaño de las turbinas, mejora la generación de energía eléctrica y disminuye el costo del kW (Banco et al., 2017)

En Alemania, como resultado de iniciativas gubernamentales, la gran mayoría de la energía eléctrica proviene del biogás. En la mayoría de los casos, el biogás se produce a partir de aguas residuales (lodo); pese a ello, una enorme cantidad de biogás (alrededor de 224 TWh) se produciría a partir del estiércol humano a mediados de 2030. (Achinás, Achinas, & Euverink, 2017)

Por último, la electricidad finalmente obtenida a partir del biogás puede ser utilizada para alimentar instalaciones propias de tratamiento o si hay un exceso, se puede vender. De igual modo, también hay la posibilidad de introducir el biogás a una red de repartición de gas natural o utilizarse como combustible para vehículos. (Esteban Gutierrez Mriam 2014)

## **7.3 Generación de calor a partir del biogás**

En esos lugares apartados en donde los combustibles derivados del petróleo escasean, prevalecen los sistemas sencillos de biogás, estos logran suministrar la energía calorífica para

aquellas actividades básicas como preparar los alimentos y calentar el agua, este es un uso inmediato que requiere un procedimiento mínimo de retiro de contaminantes como el sulfuro de hidrogeno  $H_2S$  (Héctor, 2013)

Gracias a su alto contenido en gas metano, cuenta con un poder calorífico menor que el del gas natural, el uso de gas combustible con bajo poder calorífico se emplea donde es fácil la transformación en la maniobra de hornos, calderas, secadores, entre otros., el biogás además se puede emplear como combustible en calderas para formar vapor. (Villanueva et al., 2011)

Este gas, combinado principalmente por metano y bióxido de carbono, acumula una enorme cantidad de energía que puede ser aplicada mediante la combustión en diferentes tecnologías las cuales contribuyen a la reducción del uso de fuente de energías no renovables (Hernández, 1996)

Para la elaboración de vapor o agua caliente se emplean métodos en donde se utiliza una caldera con quemadores de gas. Regularmente cualquier caldera comercial puede servir, pero se deben realizar ciertos cambios para que funcione con biogás. Con relación a los quemadores de gas tradicionales estos se pueden realizar adaptaciones de forma fácil para funcionar con biogás, es elementalmente cambiando la relación entre aire-gas. La exigencia de calidad del biogás para quemadores no es alta (FAQ 2011)

Debido a la producción de elementos que presentan trazas de sulfatos presentes en el biogás, se recomienda utilizar mecanismos en los cuales los materiales sean resistentes a la corrosión. Puesto a que el biogás tiene un menor poder calorífico, comparado con el gas natural, es necesario implementar un sistema que pueda manipular altos volúmenes de gas, el cual tenga presupuestado caídas de presiones mínimas. Es necesario escoger de forma acertada el quemador y así suministrar la velocidad adecuada al gas, y para proporcionar una mezcla eficiente y eficaz con el combustible. (Arriata, 2016)

#### **7.4 Uso doméstico del biogás**

En la actualidad el biogás tiene varios usos, gracias a sus propiedades, se puede emplear como fuente de calor, su uso doméstico inclusive sirve para cocinar, si se realiza una

refinación este puede ser usado como combustible para vehículos, o también para la elaboración de productos químicos. Si se tiene en cuenta todos estos aspectos, observamos como el biogás se transforma en un producto atractivo para crear bioenergía y su fabricación se considera como una de las técnicas más beneficiosas para el medio ambiente en el vía para sustituir los combustibles fósiles. (Hidalgo-barrio & Corona-encinas, 2017)

Para poder utilizar el biogás en las estufas estas deben ser de fácil y simple acción, estas deben ser flexibles en cuanto a tamaño, fáciles de limpiar y reparar, no debe costar demasiado, pero con un alto rendimiento en el uso del combustible. En la mayoría de las hogares se cocina en dos fogones, por ello se da preferencia a quemadores de dos llamas. Los quemadores para un óptimo funcionamiento deben ser graduados al comienzo y luego deben ser fijados, así se obtiene un alto rendimiento del biogás generado. Para que el rendimiento al momento de cocinar sea bueno este debe hervir un litro de agua en un lapso de tiempo entre (8-12 minutos). En cambio si el regulador no está bien ajustado y sincronizado este proceso puede tardar más tiempo y tener un rendimiento (Vinasco, 2002)

No obstante, aunque su poder calorífico no es muy grande, este consigue reemplazar al gas natural con facilidad, el biogás se le puede dar los siguientes usos:

- Fuente de calor (cocina, alumbrado)
- Incineración en calderas de vapor para la calefacción
- Combustible de motores acoplados a generadores eléctricos

(Stege G Alex & Davila, 2009)

La generación de biogás, combustible limpio para el desarrollo de las actividades rutinarias del hombre en el área rural, especialmente en los sitios de difícil acceso y en los cuales no se cuenta con energía habitual, por esta razón el biogás tiene mucho valor ya que puede ser producido a medida que se va requiriendo y en los lugares donde más se necesitan. (Ernesto, Ortiz, & Alejandro, 2017)

## 8. Conclusiones

Luego de haber culminado el presente proyecto, se concluye lo siguiente: El uso y aprovechamiento del biogás es valorado como el futuro en energías alternativas. Además de la generación de energía eléctrica, calor y vapor la cual puede ser empleada en las viviendas.

El biogás se convierte en un producto atractivo para crear bioenergía y su producción se puede considerar como una de las tecnologías más benéficas para el medio ambiente

A causa a los simples métodos para producción de biogás se puede suministrar la energía calórica para tareas básicas como cocinar y calentar el agua, para el cual se necesita de un proceso sencillo y producción de contaminantes

La generación y aprovechamiento de biogás a partir de aguas residuales resulta muy atractivo, puesto que permite disminuir los efectos ambientales negativos al agua y la atmósfera.

Es necesario evaluar detenidamente la ingeniería de cada planta de tratamiento de aguas residuales, antes de la elección de la tecnología a implementar, ya que en función de su aplicación depende su éxito

Consecuentemente la implementación de un sistema de tratamiento anaerobio implica una baja inversión económica, pero una gran contribución al medio ambiente

## 9. Referencias Bibliográficas

- Acevedo, R (2015). Investigación Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda. *Biogas from Organic Waste and its Commitment as a Second*.
- Achinas, S, Achinas, V, & Euverink, G J. W (2017). A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. *Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.03.002>
- Acosta, Y, & Obaya, M (2005). La digestión anaerobia Aspectos teóricos. *Revista IGDCA*, 35-48.
- Adekunle, F, & Okolie, J. (2015). A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 205-212.
- Arango Gómez, J. E, Sierra Vargas, F E, & Silva Leal, V (2014). An exploratory analysis of existing research on internal combustion engines operating with biogas. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, ISSN-e0123-921X Vol. 18, No. 39, 2014, Págs. 152-164, 18(39), 152–164. Tomado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4778486>
- Arango, O, & Sanches, L (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 24-31.
- Arriata, D (2016). Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios.
- Botero, R (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. “Manual para su instalación, operación y utilización”. Costa Rica.
- Carmargo, Y Vélez, A (2009). Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios.
- Cazier, E, Trably, E, Steyer, J., & Escudé, R (2015). Biomass hydrolysis inhibition at high hydrogen partial pressure in solid-state anaerobic digestion. *Bioresour. Technol.*, págs. 106-113.

- Coto, J. (2007). Implementación de un sistema para generar electricidad a partir de biogás en la finca pecuaria integrada de EARTH *Universidad EARTH Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica Revista Tierra Tropical*, págs. 129-238.
- Crozza, D, & Pagano, A (2007). Conversión energética de los desechos biológicos mediante la biotecnología anaeróbica. *Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires*.
- Dareioti, M A, Doki anakis, S N, Stamelatos, K, Zafiri, C, & Kornaros, M (2009). Biogas production from anaerobic co-digestion of agro-industrial waste waters under mesophilic conditions in a two-stage process. *Desalination*, 248(1-3), 891-906.
- Echarren, P. (2005). Diseño de un sistema de biofiltración para la eliminación de la fábrica "Lubascher y Krause" Temuco. *Tesis Licenciado en Ciencias de la Ingeniería Universidad Católica de Temuco, Facultad de Ingeniería Temuco, Chile*.
- Fountoulakis, M S, & Manios, T (2009). Enhanced methane and hydrogen production from municipal solid waste and agro-industrial by-products co-digested with crude glycerol. *Bioresour. Technol.*, 100(12), 3043-3047.
- Gaete, C (2007). Tratamiento de agua con elevado contenido de sulfato en un reactor EGSB, utilizando el biogás producción para la remoción de H<sub>2</sub>O. *Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad de La Frontera, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración Temuco, Chile*.
- Gonzales, C, Salve, B, & Mlinuevo, S (2015). Review Anaerobic digestion of microalgal biomass: Challenges, opportunities and research needs. *Bioresour. Technol.*, 1-11.
- Hernandez, H, & Delgadillo, L (2005). Tratamiento de lactosuero hidrolizado por medio de un reactor UASB. *Pregrado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo*.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). *Biomasa. Digestores anaerobios*. Gobierno de España: Energías Renovables.

- Kondusamy, D, & Kalamdhad, A (2014). Pre-treatment and anaerobic digestion of food waste for high rate methane production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1821-1830.
- Magariños, J. J. G, García, C de la M, & Arévalo, P. R (2015). Producción Y Captación De Biogás En Vertedero Para Su Empleo En Usos No Convencionales. *Tecnología y Desarrollo*, XIII, 32
- Maragkaki, A E, Fountoulakis, M, Gypakis, A, Kyriakou, A, Lasaridi, K, & Mniros, T (2017). Full-scale anaerobic co-digestion of sewage sludge with agro-industrial by-products for increased biogas production of existing digesters at wastewater treatment plants. *Waste management*, 59, 362-370.
- Márquez, A (2010). *Adecuación final y clausura de relleno sanitario*. MC.
- Min, H, Hyun, J., & Moon, J. (2014). Bacterial and methanogenic archaeal communities during the single-stage anaerobic digestion of high-strength food wastewater. *Bioresour. Technol.*, pág. 174-182 .
- Molina, A, Nanna, F, Ding, Y, & Ekson, B & (2013). Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste.
- Nolasco, D (2010). Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales. *Banco Interamericano de Desarrollo, sector de Infraestructura y Medio Ambiente*.
- ONU (1987). *Informe Brundtland: Informe de la comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo*
- Pabuena, M, & Pasqualino, J. (2014). Potencial de uso de biogás en Colombia. *Teknos revista científica*, 27-33.
- Rodríguez Caro Raquel. (n.d). REACTORES UASB PTAR
- Ramírez, V, & Antero, J. (2014). Evolución de las teorías de explotación de recursos naturales: hacia la creación de una nueva ética mundial. *Luna Azul*, 293.
- Torres, J. F (2006). Biogás como fuente de energía. *Universidad Autónoma Agraria*.

Torres, P. (2012). *Perspectivas Del Tratamiento Anaerobio De Aguas Residuales Domésticas En Países En Desarrollo*

*Para La Protección Del Ambiente de Los Estados Unidos. Retrieved from <http://www3.epa.gov/lmp/international/mexicano.html>*

Vinasco, J. P. S (2002). *TECNOLOGÍA DEL BIÓGAS.*

Yaniris, L (2006). La digestión anaeróbica y los reactores UASB Generalidades. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.*